

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
22. September 2005 (22.09.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2005/088135 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **F04D 21/00**,
29/32, F01D 5/14

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2005/000357

(22) Internationales Anmeldedatum:
3. März 2005 (03.03.2005)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2004 011 607.5 10. März 2004 (10.03.2004) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **MTU AERO ENGINES GMBH** [DE/DE];
Dachauer Strasse 665, 80995 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **HOEGGER, Martin**
[DE/DE]; Herderstrasse 5, 85435 Erding (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **MTU AERO ENGINES
GMBH**; Intellectual Property Management (ASI), Post-
fach 50 06 40, 80976 München (DE).

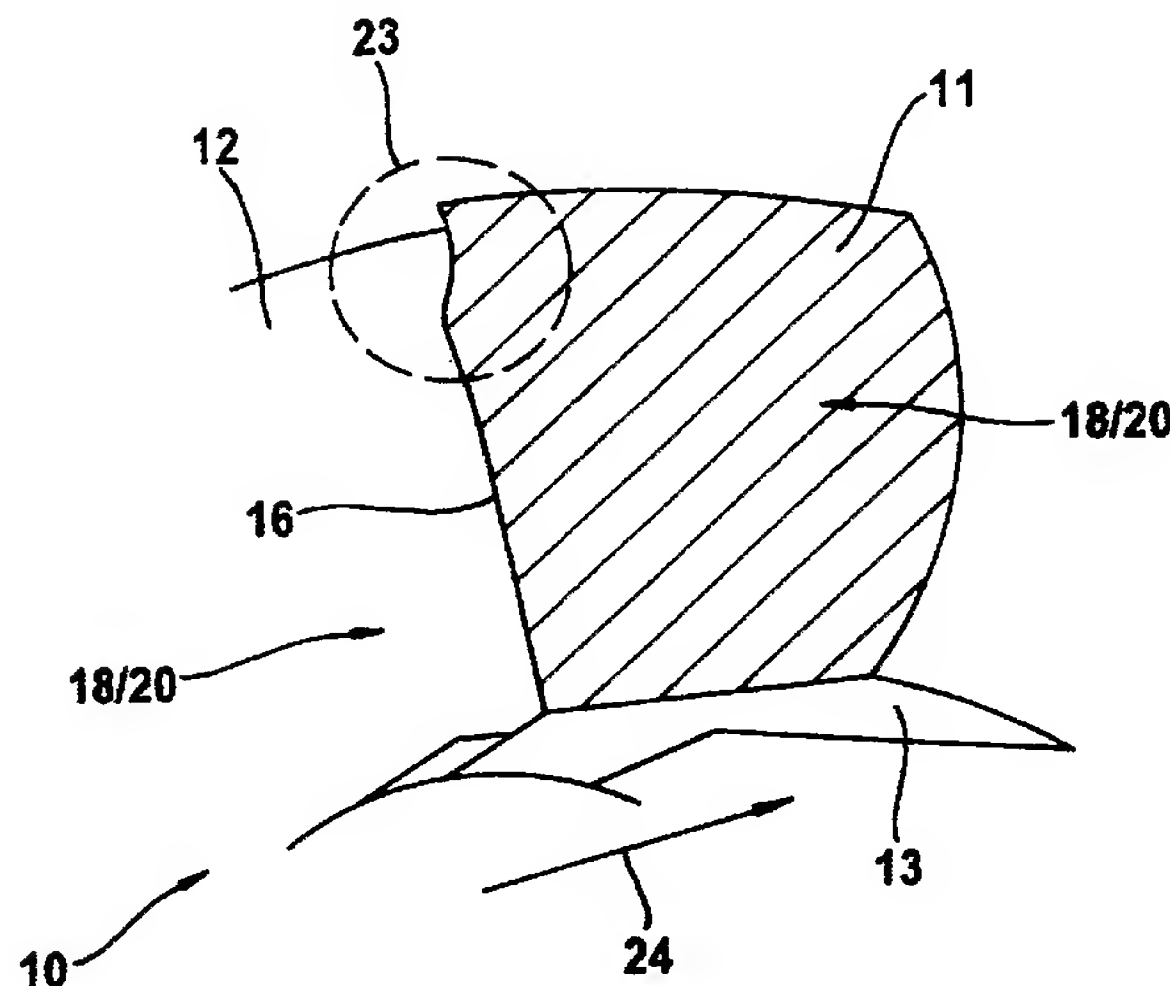
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,
GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,
PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ,
TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA,
ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: COMPRESSOR OF A GAS TURBINE AND GAS TURBINE

(54) Bezeichnung: VERDICHTER EINER GASTURBINE SOWIE GASTURBINE



(57) Abstract: The invention relates to a compressor, particularly a high-pressure compressor, of a gas turbine, particularly of an aircraft engine. The compressor comprises at least one rotor and a number of blades (11, 12), which are assigned to the or to each rotor and which rotate together with the respective rotor. Each blade (11, 12) is delimited, in essence, by a flow entry edge or leading edge (16), a flow exit edge or trailing edge (17), and by a blade surface (20), which extends between the leading edge (16) and the trailing edge (17) while forming a suction side (18) and a pressure side. According to the invention, the leading edges (16) of the blades (11, 12) are slanted at a sweep angle that changes with the height of the respective blade (11, 12) in such a manner that the leading edges (11) comprise, in a radially external area (23) of the same, at least one forward sweep angle, a backward sweep angle or zero-sweep angle following in a radially external manner, and a forward sweep angle following, in a radially external manner, the backward sweep angle or the zero-sweep angle.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2005/088135 A1



TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Verdichter, insbesondere einen Hochdruckverdichter, einer Gasturbine, insbesondere eines Flugtriebwerks. Der Verdichter weist mindestens einen Rotor und mehrere dem oder jedem Rotor zugeordnete, zusammen mit dem jeweiligen Rotor rotierende Laufschaufeln (11, 12) auf, wobei jede Laufschaufel (11, 12) im wesentlichen von einer Strömungseintrittskante bzw. Vorderkante (16), einer Strömungsaustrittskante bzw. Hinterkante (17) und einer sich zwischen der Vorderkante (16) und der Hinterkante (17) erstreckenden, eine Saugseite (18) und eine Druckseite bildenden Schaufelblattoberfläche (20) begrenzt wird. Erfindungsgemäß sind die Vorderkanten (16) der Laufschaufeln (11, 12) derart um einen sich mit der Höhe der jeweiligen Laufschaufel (11, 12) ändernden Pfeilungswinkel geneigt, dass die Vorderkanten (11) in einem radial außenliegenden Bereich (23) derselben zumindest einen Vorwärtspfeilungswinkel, einen sich radial außen anschließenden Rückwärtspfeilungswinkel oder Nullpfeilungswinkel und einen sich an den Rückwärtspfeilungswinkel oder den Nullpfeilungswinkel radial außen anschließenden Vorwärtspfeilungswinkel aufweisen.

Verdichter einer Gasturbine sowie Gasturbine

Die Erfindung betrifft einen Verdichter einer Gasturbine, insbesondere eines Flugtriebwerks, gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1. Weiterhin betrifft die Erfindung eine Gasturbine, insbesondere ein Flugtriebwerk, gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 11.

Gasturbinen, wie zum Beispiel Flugtriebwerke, bestehen aus mehreren Baugruppen, nämlich einem Lüfter bzw. Fan, vorzugsweise mehreren Verdichtern, einer Brennkammer, sowie vorzugsweise mehreren Turbinen. Zur Verbesserung des Wirkungsgrads und Arbeitsbereichs solcher Gasturbinen ist es erforderlich, alle Subsysteme bzw. Komponenten der Gasturbine zu optimieren. Die hier vorliegende Erfindung betrifft die Verbesserung des Wirkungsgrads bzw. Arbeitsbereichs von Verdichtern, insbesondere von transsonischen Hochdruckverdichtern.

Verdichter von Gasturbinen bestehen in der Regel aus mehreren in Durchströmung axial hintereinander angeordneten Stufen, wobei jede Stufe von durch einem Rotor zugeordneten, einen Laufschaufelkranz bildenden Laufschaufeln sowie einem Leitschaufelkranz gebildet wird. Die dem Rotor zugeordneten, den Laufschaufelkranz bildenden Laufschaufeln rotieren zusammen mit dem Rotor gegenüber den feststehenden Leitschaufeln und einem ebenfalls feststehend ausgebildeten Gehäuse. Zur Reduzierung von Herstellungskosten werden zunehmend kompakte Bauformen von Verdichtern mit möglichst geringen Stufenzahlen angestrebt. Andererseits steigen aufgrund der stetigen Optimierung des Wirkungsgrads sowie Arbeitsbereichs derartiger Verdichter die Gesamtdruckverhältnisse innerhalb der Gasdruckturbine bzw. des Verdichters und damit die Stufendruckverhältnisse zwischen einzelnen Stufen.

Bei zunehmend größer werdenden Stufendruckverhältnissen und zunehmend geringeren Stufenzahlen ergeben sich zwangsläufig höhere Umfangsgeschwindigkeiten der rotierenden Bauteile des Verdichters. Die mit der Reduzierung der Stufenzahl steigenden Drehzahlen führen einerseits zu wachsenden mechanischen Belastungen insbesondere an den mit dem Rotor rotierenden Laufschaufeln und andererseits zu einer sogenannten supersonischen Anströmung der Laufschaufeln sowie zu transsonischen Strömungsverhältnissen innerhalb der Schaufelgitter.

Bei derartigen Strömungsverhältnissen bedarf es einer optimierten, aerodynamischen Auslegung eines Verdichters, wobei bei einer solchen aerody-

namischen Auslegung insbesondere auf eine sorgfältige Konturierung der Schaufelprofile sowie der Schaufelvorderkante zu achten ist.

Zur Beeinflussung des Stabilitätsverhaltens eines Fans bzw. Lüfters und damit zur Optimierung des Wirkungsgrads sowie Arbeitsbereichs desselben ist es aus dem Stand der Technik bereits bekannt, Fanschaufeln eines Fans im Bereich ihrer Vorderkante im Sinne eines Pfeilungswinkels zu neigen. Dabei unterscheidet man Fanschaufeln, deren Vorderkanten im Sinne einer Vorwärtspfeilung geneigt sind, von solchen Laufschaufeln, deren Vorderkanten im Sinne einer Rückwärtspfeilung geneigt sind. Diesbezüglich kann auf die US 5,167,489 verwiesen werden.

Hiervon ausgehend liegt der vorliegenden Erfindung das Problem zu Grunde, einen neuartigen Verdichter einer Gasturbine sowie ein neuartige Gasturbine zu schaffen.

Dieses Problem wird dadurch gelöst, dass der eingangs genannte Verdichter durch die Merkmale des kennzeichnenden Teils des Patentanspruchs 1 weitergebildet ist. Erfindungsgemäß sind die Vorderkanten der Laufschaufeln derart um einen sich mit der Höhe der jeweiligen Laufschaufel ändernden Pfeilungswinkel geneigt, dass die Vorderkanten in einem radial außenliegenden Bereich derselben zumindest einen Vorwärtspfeilungswinkel, einen sich radial außen an den Vorwärtspfeilungswinkel anschließenden Rückwärtspfeilungswinkel oder Nullpfeilungswinkel und einen sich an den Rückwärtspfeilungswinkel oder den Nullpfeilungswinkel radial außen anschließenden Vorwärtspfeilungswinkel aufweisen.

Im Sinne der hier vorliegenden Erfindung wird der Wirkungsgrad sowie der Arbeitsbereich des Verdichters durch die erfindungsgemäße Ausbildung der Vorderkante der Laufschaufeln optimiert. Durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung der Vorderkante der Laufschaufeln ergibt sich eine aerodynamisch optimale Lage einer Stoßwelle bzw. Stoßfront des Verdichters bezüglich der Vorderkante der angeströmten Laufschaufel. Es ist eine Erkenntnis der hier vorliegenden Erfindung, dass die Lage der Stoßfront bzw. Stoßwelle des Verdichters bezüglich der Vorderkante der Laufschaufeln zur Bereitstellung eines optimalen Wirkungsgrads sowie Arbeitsbereichs des Verdichters von Bedeutung ist. Die aus dem Stand der Technik bekannten Pfeilungen der Vorderkanten von Fanschaufeln beeinflussen lediglich die Lage einer Stoßfront bzw. Stoßwelle auf einer Saugseite der Fanschaufeln. Es ist demnach eine Erkenntnis der hier vorliegenden Erfindung, dass durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung der Vorderkanten von Verdichterschaufeln eine optimierte Lage der Stoßfront bezüglich der Vorderkan-

te, nämlich ein Anliegen der Stoßfront an der Vorderkante im radial außenliegenden Bereich, erzielt werden kann.

Nach einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung liegt der radial außenliegende Bereich der Vorderkanten, in welchem dieselben zumindest einen Vorwärtspfeilungswinkel, einen sich an den Vorwärtspfeilungswinkel anschließenden Rückwärtspfeilungswinkel oder Nullpfeilungswinkel und einen sich an den Rückwärtspfeilungswinkel oder den Nullpfeilungswinkel anschließenden Vorwärtspfeilungswinkel aufweisen, zwischen 60% und 100%, vorzugsweise zwischen 70% und 100%, der Höhe der Laufschaufeln.

Nach einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung weisen die Vorderkanten der Laufschaufeln in diesem radial außenliegenden Bereich in der Richtung von radial innen nach radial außen einen Vorwärtspfeilungswinkel, einen sich an den Vorwärtspfeilungswinkel anschließenden Rückwärtspfeilungswinkel und einen sich an den Rückwärtspfeilungswinkel anschließenden Vorwärtspfeilungswinkel auf. Im dem radial außenliegenden Bereich zwischen 60% und 100%, vorzugsweise zwischen 70% und 100%, der Höhe der Laufschaufel schließen demnach dann zwei vorwärtsgepfeilte Abschnitte einen rückwärtsgepfeilten Abschnitt ein.

Die erfindungsgemäße Gasturbine ist im Patentanspruch 11 definiert.

Bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung. Ausführungsbeispiele der Erfindung werden, ohne hierauf beschränkt zu sein, an Hand der Zeichnung näher erläutert. Dabei zeigt:

- Fig. 1 einen schematisierten Ausschnitt aus einem erfindungsgemäßen Verdichter in einer Ansicht von radial außen auf zwei Laufschaufelprofile des erfindungsgemäßen Verdichters, wobei die beiden Laufschaufelprofile im Querschnitt entlang der bei in etwa 80% der Schaufelhöhe verlaufenden Schnittlinie I-I gemäß Fig. 3 gezeigt sind;
- Fig. 2 einen schematisierten Ausschnitt aus einem erfindungsgemäßen Verdichter in einer Ansicht senkrecht zur Saugseite einer Laufschaufel des Verdichters; und
- Fig. 3 einen schematisierten Ausschnitt aus einem erfindungsgemäßen Verdichter in einer Meridianebenenansicht des Verdichters mit zusammen mit der Lage eines Verdichtungsstoßes nahe der Vorderkante der Laufschaufel.

Nachfolgend wird die hier vorliegende Erfindung unter Bezugnahme auf Fig. 1 bis 3 in größerem Detail erläutert.

Fig. 1 zeigt einen Ausschnitt aus einem erfindungsgemäßen Verdichter 10 im Bereich von zwei Laufschaufeln 11 und 12 in einer Ansicht von radial außen. In Fig. 2 ist neben den Laufschaufeln 11 und 12 auch eine Rotornabe 13 des Verdichters 10 erkennbar. Die Laufschaufeln 11 und 12 rotieren zusammen mit dem Rotor entlang der durch den Pfeil 14 visualisierten Richtung. Ein Pfeil 15 visualisiert die Durchströmungsrichtung bzw. Anströmrichtung des durch die Laufschaufeln 11 und 12 gebildeten Laufschaufelgitters des Verdichters 10. Die Anströmung des Laufschaufelgitters bzw. der Laufschaufeln 11 und 12 erfolgt dabei vorzugsweise im Überschallbereich, wobei die Abströmung von den Laufschaufeln 11 und 12 im Unterschallbereich erfolgt.

Jede der Laufschaufeln 11 und 12 des Laufschaufelgitters wird im Wesentlichen von einer Strömungseintrittskante bzw. Vorderkante 16, einer Strömungsaustrittskante bzw. Hinterkante 17 und einer zwischen der Vorderkante 16 und der Hinterkante 17 verlaufenden, eine Saugseite 18 und eine Druckseite 19 bildenden Schaufeloberfläche 20 begrenzt. Wie bereits erwähnt, erfolgt die Anströmung der Laufschaufeln 11 und 12 im Bereich der Vorderkanten 16 vorzugsweise im Überschallbereich, die Abströmung derselben im Bereich der Hinterkanten 17 erfolgt vorzugsweise im Unterschallbereich. Im Sinne der hier vorliegenden Erfindung werden die Vorderkanten 16 der Laufschaufeln 11 und 12 so gestaltet, dass eine gasdynamische Verträglichkeit der Laufschaufeln 11 und 12 mit einem Verdichterstoß gegeben ist. Bei einer derartigen gasdynamischen Verträglichkeit der Laufschaufel 11, 12 mit dem Verdichterstoß liegt eine Stoßfront des Verdichterstoßes im Bereich der Vorderkante 16 der angeströmten Laufschaufel 11 an. So zeigen Fig. 1 und 3 eine Stoßfront 21, die bei erfindungsgemäß ausgebildeten Laufschaufeln an der Vorderkante 16 der angeströmten Laufschaufel 11 anliegt, und zwar in einem radial außenliegenden Bereich der Vorderkante 16. Ein derartiges Anliegen der Stoßfront 21 an der angeströmten Verdichterschaufel 11 ist aerodynamisch und gasdynamisch optimal. Mit der Bezugsziffer 22 ist in Fig. 1 eine von der Vorderkante 16 der angeströmten Laufschaufel 11 beabstandete bzw. abgelöste Stoßfront gezeigt, die sich bei aus dem Stand der Technik bekannten Verdichtern einstellt, deren Laufschaufeln nicht im Sinne der Erfindung ausgebildet sind. Eine derart von der Vorderkante 16 der angeströmten Laufschaufel 11 abgelöste Stoßfront des Verdichterstoßes wird mit der hier vorliegenden Erfindung vermieden, und hierdurch wird der Wirkungsgrad sowie Arbeitsbereich des Verdichters 10 optimiert.

Im Sinne der hier vorliegenden Erfindung sind die Vorderkanten 16 der Laufschaufeln 11, 12 derart um einen sich mit der Höhe der Laufschaufeln ändernden Pfeilungswinkel geneigt, dass die Vorderkanten 16 in einem radial außenliegenden Bereich derselben zumindest einen Vorwärtspfeilungswinkel, einen sich an den Vorwärtspfeilungswinkel radial außen anschließenden Rückwärtspfeilungswinkel oder Nullpfeilungswinkel und einen sich an den Rückwärtspfeilungswinkel oder Nullpfeilungswinkel radial außen anschließenden Vorwärtspfeilungswinkel aufweisen. Dieser Bereich ist in Fig. 2, welche eine Ansicht senkrecht zur Saugseite 18 der Laufschaufel 11 zeigt, mit der Bezugsziffer 23 gekennzeichnet. Die Saugseite 18 der Laufschaufel 11 ist aus Gründen einer übersichtlicheren Darstellung in Fig. 2 schraffiert dargestellt, wohingegen die Saugseite 18 der dahinter positionierten Laufschaufel 12 von der Laufschaufel 11 teilweise verdeckt und nicht-schraffiert dargestellt ist.

Der radial außenliegende Bereich 23 der Vorderkanten 16 der Laufschaufeln, in welchem dieselben zumindest den Vorwärtspfeilungswinkel, den sich an den Vorwärtspfeilungswinkel radial außen anschließenden Rückwärtspfeilungswinkel oder Nullpfeilungswinkel und den sich an den Rückwärtspfeilungswinkel oder Nullpfeilungswinkel radial außen anschließenden Vorwärtspfeilungswinkel aufweisen, liegt zwischen 60% und 100% der radialen Höhe der Laufschaufeln 11, 12. Vorzugsweise liegt dieser Bereich zwischen 70% und 100% der radialen Höhe der Laufschaufeln 11, 12. Die erfindungsgemäße Konturierung der Vorderkanten 16 der Laufschaufeln 11, 12 betrifft demnach den Bereich der Schaufelspitzen der Laufschaufeln 11, 12 - und zwar ausgehend vom Nabenbereich 13 die letzten 40% bzw. 30% der Laufschaufeln 11, 12.

Nach einer vorteilhaften Weiterbildung der hier vorliegenden Erfindung weisen die Vorderkanten 16 der Laufschaufel 11, 12 in diesem radial außenliegenden Bereich 23 von radial innen nach radial außen gesehen zuerst einen Vorwärtspfeilungswinkel, dann einen sich an den Vorwärtspfeilungswinkel anschließenden Rückwärtspfeilungswinkel und sodann einen sich an den Rückwärtspfeilungswinkel anschließenden, abermaligen Vorwärtspfeilungswinkel auf. Bevorzugt ist demnach eine Ausgestaltung der Laufschaufeln, bei welchem dieselben innerhalb des radial außenliegenden Bereichs 23 zwei Abschnitte mit Vorwärtspfeilungswinkeln aufweisen, wobei sich zwischen diesen beiden Abschnitten mit einem Vorwärtspfeilungswinkel ein Abschnitt mit einem Rückwärtspfeilungswinkel positioniert ist.

Im Sinne der hier vorliegenden Erfindung sollen die Begriffe Vorwärtspfeilungswinkel sowie Rückwärtspfeilungswinkel derart definiert sein, dass eine Laufschaufel 11, 12 an einer Vorderkante 16 dann bei einer gewissen radialen Höhe einen Vorwärtspfeilungswinkel aufweist, wenn ein Punkt an der Vorderkante 16 eines Laufschaufelschnitts bei dieser radialen Höhe gegenüber den Vorderkantenpunkten nabenseitig benachbarter bzw. radial unterhalb benachbarter bzw. radial innerhalb benachbarter Laufschaufelschnitte stromaufwärts positioniert ist. Demgegenüber liegt ein Rückwärtspfeilungswinkel vor, wenn ein Punkt an der Vorderkante 16 des Laufschaufelschnitts bei einer gewissen radialen Höhe gegenüber den Vorderkantenpunkten nabenseitig benachbarter bzw. radial unterhalb benachbarter bzw. radial innerhalb benachbarter Laufschaufelschnitte stromabwärts positioniert ist. Bei einem Nullpfeilungswinkel sind benachbarte Vorderkantenpunkten strömungstechnisch zueinander nicht versetzt ausgerichtet. Die Durchströmungsrichtung ist in Fig. 1 und 3 durch einen Pfeil 24 visualisiert. Der Pfeilungswinkel bezieht sich auf die tatsächliche Anströmrichtung der Laufschaufel.

In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der hier vorliegenden Erfindung verfügt die Vorderkante 16 der Laufschaufeln 11, 12 bei einer Höhe von in etwa 60% bis 80% der radialen Höhe der Laufschaufel 11, 12 über einen Vorwärtspfeilungswinkel. Besonders bevorzugt ist eine Ausführung, bei welcher dieser Vorwärtspfeilungswinkel bei einer Höhe von in etwa 75% der radialen Höhe der Laufschaufel 11, 12 liegt. An diesen Vorwärtspfeilungswinkel schließt sich dann ein Bereich mit einem Rückwärtspfeilungswinkel oder Nullpfeilungswinkel an, wobei die Vorderkante 16 bei einer Höhe von in etwa 80% bis 90%, insbesondere bei einer radialen Höhe von in etwa 85%, diesen Rückwärtspfeilungswinkel oder Nullpfeilungswinkel aufweist. An diesen Rückwärtspfeilungswinkel oder Nullpfeilungswinkel schließt sich dann bevorzugt in einem Bereich bei einer radialen Höhe von in etwa 90% bis 100% wiederum ein Bereich der Vorderkante 16 mit einem Vorwärtspfeilungswinkel an. Eine derartige Ausgestaltung der Laufschaufeln 11, 12 ist gasdynamisch bzw. aerodynamisch besonders bevorzugt und gewährleistet ein Anliegen der Stoßwelle eines Verdichtungsstoßes an der angeströmten Laufschaufel. Hierdurch wird der Wirkungsgrad bzw. Arbeitsbereich des Verdichters positiv beeinflusst.

Es sei darauf hingewiesen, dass Vorwärtspfeilungswinkel sowie Rückwärtspfeilungswinkel vorzugsweise Werte bis zu 20° aufweisen. Es sind aber auch größere Vorwärtspfeilungswinkel und Rückwärtspfeilungswinkel im Sinne der Erfindung möglich.

Wie aus der obigen Darstellung der Erfindung ersichtlich ist, betrifft die Erfindung die Konturierung der Schaufelvorderkante in dem radial außenliegenden Bereich 23, der wie bereits erwähnt zwischen 50% und 100%, insbesondere zwischen 60% und 100%, bevorzugt zwischen 70% und 100%, der Höhe der Laufschaufel liegt.

Der Bereich der Schaufelvorderkante 16, der zwischen der Nabe 13 und dem radial außenliegenden Bereich 23 liegt, kann beliebig konturiert sein. So zeigt Fig. 3 schematisiert unterschiedliche Konturierungen der Vorderkante 16 im Bereich zwischen der Nabe 13 und dem erfindungsgemäß konturierten, radial außenliegenden Bereich 23. So ist in Fig. 3 in diesem Bereich zwischen der Nabe 13 und dem radial außenliegenden Bereich 23 in gestrichelter Linienführung eine Rückwärtspfeilung und mit durchgezogener Linienführung eine Vorwärtspfeilung der Vorderkante 16 dargestellt. Hierdurch soll zum Ausdruck gebracht werden, dass die Konturierung der Vorderkante 16 im Bereich zwischen der Nabe 13 und dem erfindungsgemäß konturierten, radial außenliegenden Bereich 23 frei gewählt werden kann. Ebenso kann die Konturierung der Hinterkante 17 frei gewählt werden.

Im Sinne der hier vorliegenden Erfindung wird demnach eine gasdynamisch sowie aerodynamisch optimierte Beschaukelung von Verdichterrotoren bereitgestellt, wobei insbesondere die radial außenliegenden Schaufelspitzen der Laufschaufeln im Bereich der Vorderkanten im Hinblick auf einen Verdichterstoß gasdynamisch verträglich ausgeführt sind. Die Kopfwelle eines Verdichterstoßes liegt an der Vorderkante der angeströmten Laufschaufel an. Dies wird dadurch erreicht, dass die Vorderkante der Laufschaufel in einem radial außenliegenden Bereich zumindest eine hybride Pfeilung aufweist, wobei diese hybride Pfeilung zumindest von einem vorwärtsgepfeilten Abschnitt und einem sich hieran radial außen anschließenden, rückwärtsgepfeilten Abschnitt gebildet wird.

Es ergeben sich zumindest die folgenden Vorteile: es wird ein besserer Wirkungsgrad des Verdichters erzielt; der Verdichter verfügt über einen erweiterten Betriebsbereich mit gutem Wirkungsgrad und damit über einen breiteren Arbeitsbereich; der Pumpgrenzabstand der Verdichters wird optimiert; das Schwingungsverhalten wird durch die sich einstellende, geänderte radiale Verteilung der Sehnenlänge verbessert; es stellt sich ein verbessertes Anstreifverhalten der Laufschaufeln ein. Wie Fig. 1 und 3 entnommen werden kann, liegt die Stoßfront an der erfindungsgemäß ausgebildeten Laufschaufel im radial außenliegenden, erfindungsgemäß konturierten Bereich der Vorderkante der angeströmten Laufschaufel an. Ein

derartiges Anliegen der Stoßfront an der angeströmten Verdichterschaufel ist aerodynamisch und gasdynamisch optimal.

Patentansprüche

1. Verdichter, insbesondere Hochdruckverdichter, einer Gasturbine, insbesondere eines Flugtriebwerks, mit mindestens einem Rotor und mehreren dem oder jedem Rotor zugeordneten, zusammen mit dem jeweiligen Rotor rotierenden Laufschaufeln (11, 12), wobei jede Laufschaufel (11, 12) im wesentlichen von einer Strömungseintrittskante bzw. Vorderkante (16), einer Strömungsaustrittskante bzw. Hinterkante (17) und einer sich zwischen der Vorderkante (16) und der Hinterkante (17) erstreckenden, eine Saugseite (18) und eine Druckseite (19) bildenden Schaufelblattoberfläche (20) begrenzt wird, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorderkanten (16) der Laufschaufeln (11, 12) derart um einen sich mit der Höhe der jeweiligen Laufschaufel (11, 12) ändernden Pfeilungswinkel geneigt sind, dass die Vorderkanten (11) in einem radial außenliegenden Bereich (23) derselben zumindest einen Vorwärtspfeilungswinkel, einen sich an den Vorwärtspfeilungswinkel radial außen anschließenden Rückwärtspfeilungswinkel oder Nullpfeilungswinkel und einen sich an den Rückwärtspfeilungswinkel oder den Nullpfeilungswinkel radial außen anschließenden Vorwärtspfeilungswinkel aufweisen.
2. Verdichter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der radial außenliegende Bereich (23) der Vorderkanten (16), in welchem dieselben zumindest einen Vorwärtspfeilungswinkel, einen sich hieran anschließenden Rückwärtspfeilungswinkel oder Nullpfeilungswinkel und einen sich an den Rückwärtspfeilungswinkel oder den Nullpfeilungswinkel anschließenden Vorwärtspfeilungswinkel aufweisen, zwischen 60% und 100% der Höhe der Laufschaufel (11, 12) liegt.
3. Verdichter nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der radial außenliegende Bereich (23) der Vorderkanten (16), in welchem dieselben zumindest einen Vorwärtspfeilungswinkel, einen sich hieran anschließenden Rückwärtspfeilungswinkel oder Nullpfeilungswinkel und einen sich an den Rückwärtspfeilungswinkel oder den Nullpfeilungswinkel anschließenden Vorwärtspfeilungswinkel aufweisen, zwischen 65% und 100% der Höhe der Laufschaufel (11, 12) liegt.

4. Verdichter nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass der radial außenliegende Bereich (23) der Vorderkanten (16), in welchem dieselben zumindest einen Vorwärtspfeilungswinkel, einen sich hieran anschließenden Rückwärtspfeilungswinkel oder Nullpfeilungswinkel und einen sich an den Rückwärtspfeilungswinkel oder den Nullpfeilungswinkel anschließenden Vorwärtspfeilungswinkel aufweisen, zwischen 70% und 100% der Höhe der Laufschaufel (11, 12) liegt.
5. Verdichter nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Vorderkanten (16) in diesem radial außenliegenden Bereich (23) in der Richtung von radial innen nach radial außen einen Vorwärtspfeilungswinkel, einen sich an den Vorwärtspfeilungswinkel anschließenden Rückwärtspfeilungswinkel und einen sich an den Rückwärtspfeilungswinkel anschließenden Vorwärtspfeilungswinkel aufweisen.
6. Verdichter nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Vorderkanten (16) bei einer Höhe von in etwa 60% bis 80% der radialen Höhe der Laufschaufeln (11, 12) einen Vorwärtspfeilungswinkel aufweisen.
7. Verdichter nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Vorderkanten (16) bei einer Höhe von in etwa 80% bis 90% der radialen Höhe der Laufschaufeln (11, 12) einen Rückwärtspfeilungswinkel oder einen Nullpfeilungswinkel aufweisen.
8. Verdichter nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Vorderkanten (16) bei einer Höhe von in etwa 90% bis 100% der radialen Höhe der Laufschaufeln (11, 12) einen Vorwärtspfeilungswinkel aufweisen.
9. Verdichter nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 11,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine Laufschaufel (11, 12) an einer Vorderkante (16) dann bei einer gewissen radialen Höhe einen Vorwärtspfeilungswinkel aufweist, wenn ein Punkt der Vorderkante (16) des Laufschaufelschnitts bei

dieser Höhe gegenüber den Vorderkantenpunkten nabenseitig benachbarter Laufschaufelschnitte stromaufwärts positioniert ist.

10. Verdichter nach Anspruch 12,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine Laufschaufel (11, 12) an einer Vorderkante (16) dann bei einer gewissen radialen Höhe einen Rückwärtspfeilungswinkel aufweist, wenn ein Punkt der Vorderkante (16) des Laufschaufelschnitts bei dieser Höhe gegenüber den Vorderkantenpunkten nabenseitig benachbarter Laufschaufelschnitte stromabwärts positioniert ist.
11. Gasturbine, insbesondere Flugtriebwerk, mit mindestens einem Verdichter, insbesondere einem Hochdruckverdichter, nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 10.

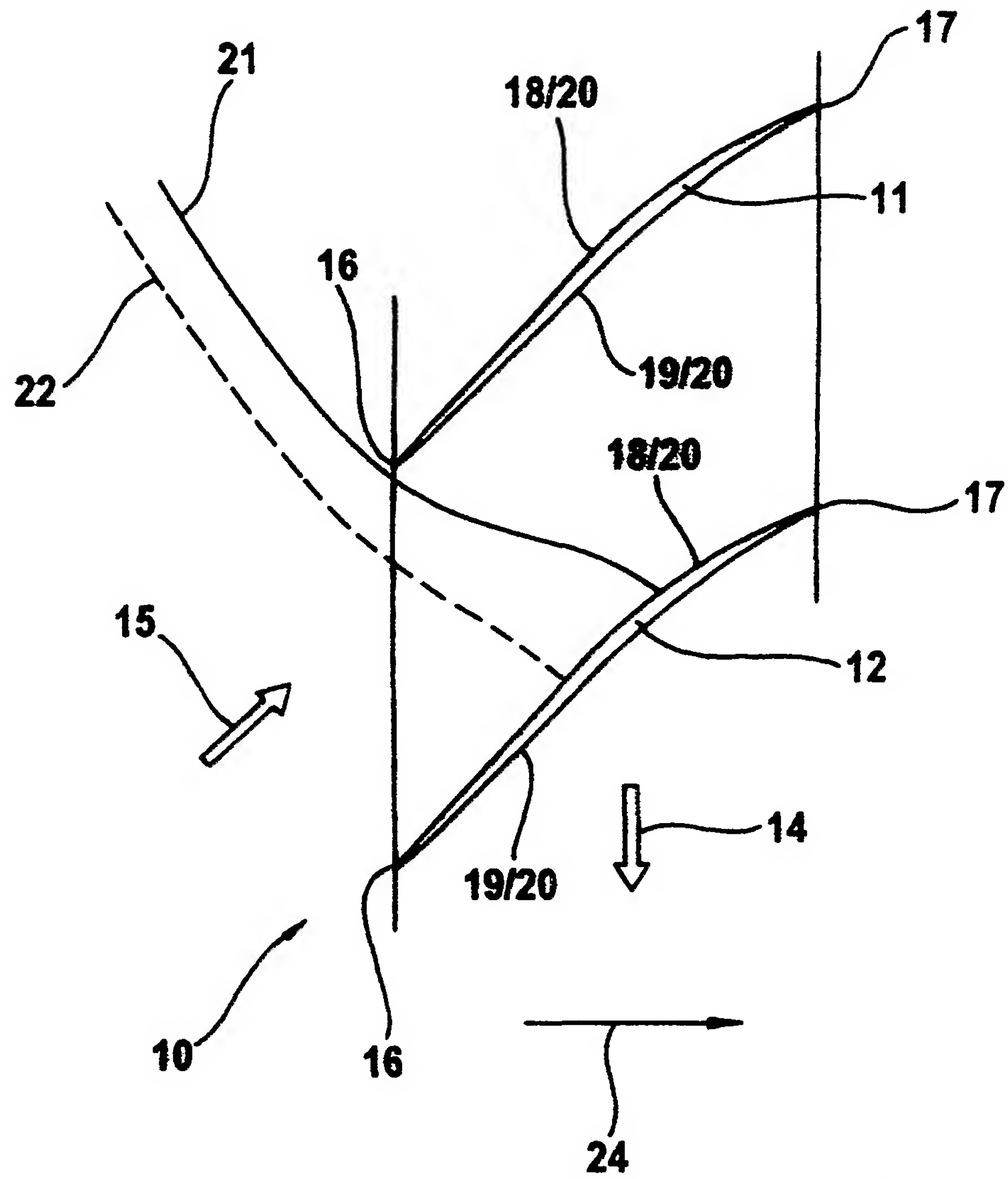
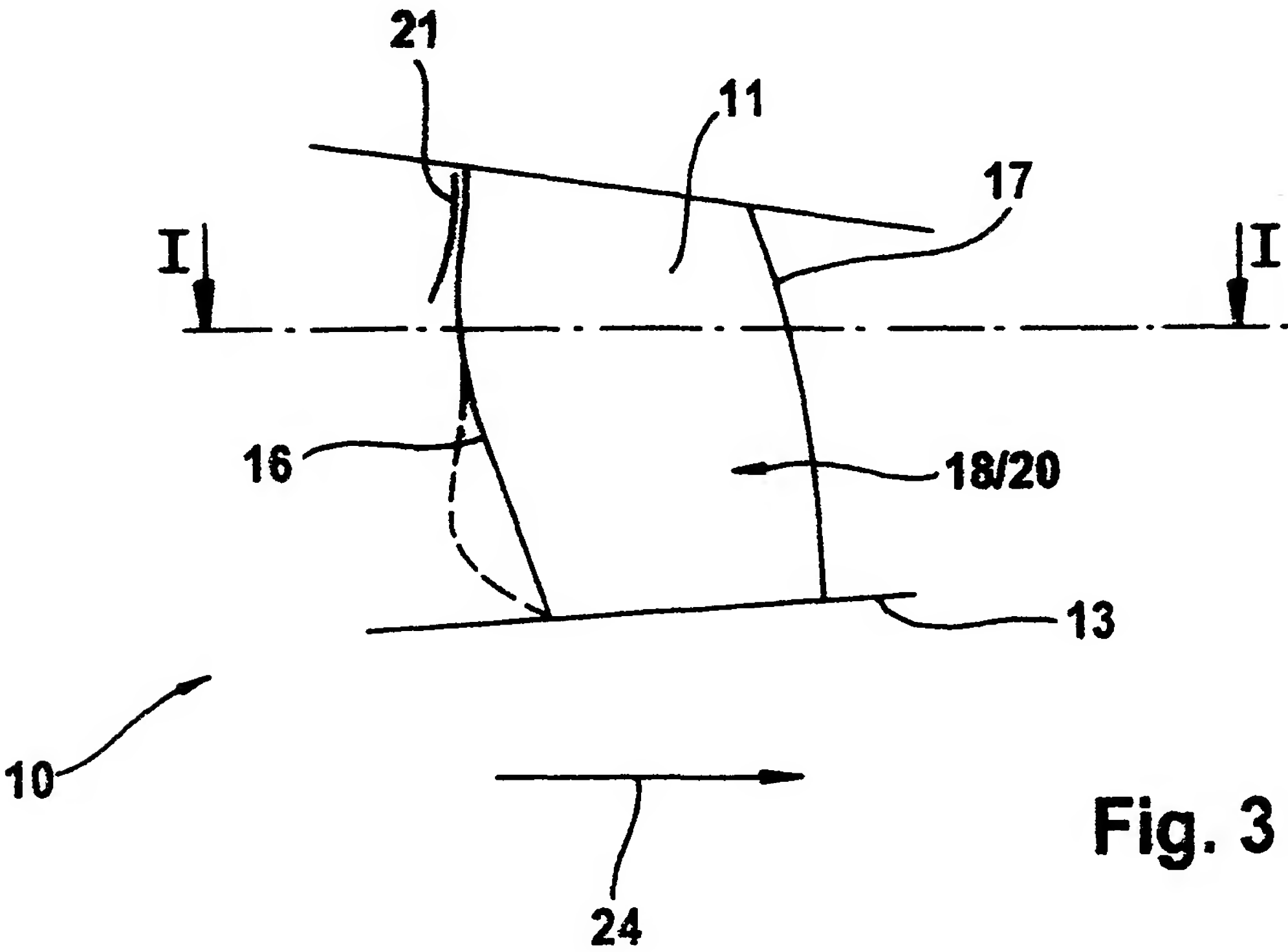
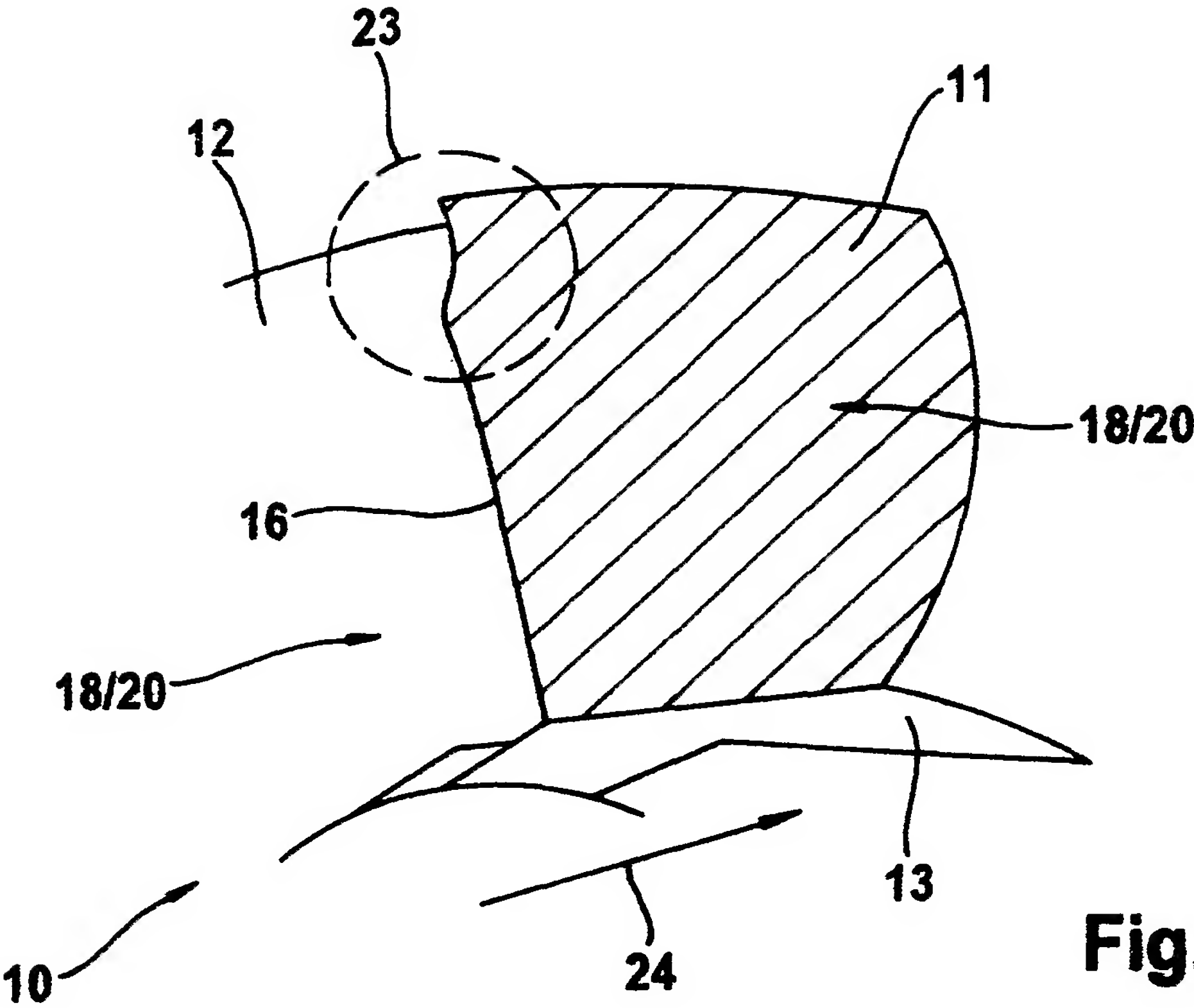


Fig. 1



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/DE2005/000357

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 F04D21/00 F04D29/32 F01D5/14

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 F04D F01D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 774 567 A (UNITED TECHNOLOGIES CORPORATION) 21 May 1997 (1997-05-21) column 3, line 25 - column 4, line 25; figures 1,2 -----	1-11
A	EP 1 111 188 A (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 27 June 2001 (2001-06-27) the whole document -----	1-11
A	US 2 738 950 A (PRICE NATHAN C) 20 March 1956 (1956-03-20) column 5, line 32 - line 39; figures 1,4 -----	1-11
A	DE 19 03 642 A1 (BROWN BOVERI-SULZER TURBOMASCHINEN AG) 6 August 1970 (1970-08-06) ----- -/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

8 July 2005

Date of mailing of the international search report

26/07/2005

Name and mailing address of the ISA
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Teerling, J

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/DE2005/000357

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>US 5 167 489 A (WADIA ET AL) 1 December 1992 (1992-12-01) cited in the application -----</p>	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE2005/000357

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0774567	A	21-05-1997	US 5642985 A	01-07-1997
			DE 1138877 T1	28-05-2003
			DE 69622002 D1	01-08-2002
			DE 69622002 T2	12-12-2002
			EP 1138877 A1	04-10-2001
			EP 0774567 A1	21-05-1997
			JP 9184451 A	15-07-1997
			US RE38040 E1	18-03-2003
<hr/>				
EP 1111188	A	27-06-2001	US 6328533 B1	11-12-2001
			BR 0005937 A	17-07-2001
			CA 2327850 A1	21-06-2001
			EP 1111188 A2	27-06-2001
			JP 2001214893 A	10-08-2001
			PL 344738 A1	02-07-2001
<hr/>				
US 2738950	A	20-03-1956	NONE	
<hr/>				
DE 1903642	A1	06-08-1970	NL 6901992 A	22-07-1970
<hr/>				
US 5167489	A	01-12-1992	NONE	
<hr/>				

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE2005/000357

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES IPK 7 F04D21/00 F04D29/32 F01D5/14		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) IPK 7 F04D F01D		
Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 0 774 567 A (UNITED TECHNOLOGIES CORPORATION) 21. Mai 1997 (1997-05-21) Spalte 3, Zeile 25 - Spalte 4, Zeile 25; Abbildungen 1,2	1-11
A	EP 1 111 188 A (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 27. Juni 2001 (2001-06-27) das ganze Dokument	1-11
A	US 2 738 950 A (PRICE NATHAN C) 20. März 1956 (1956-03-20) Spalte 5, Zeile 32 - Zeile 39; Abbildungen 1,4	1-11
A	DE 19 03 642 A1 (BROWN BOVERI-SULZER TURBOMASCHINEN AG) 6. August 1970 (1970-08-06)	
	-/--	
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen </div> <div> <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie </div> </div>		
<div style="display: flex;"> <div style="flex: 1;"> <p>* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :</p> <p>*A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist</p> <p>*E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</p> <p>*L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)</p> <p>*O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht</p> <p>*P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist</p> </div> <div style="flex: 1;"> <p>*T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist</p> <p>*X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden</p> <p>*Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist</p> <p>*Z* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist</p> </div> </div>		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 8. Juli 2005		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 26/07/2005
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Teerling, J

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE2005/000357

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie ^o	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 167 489 A (WADIA ET AL) 1. Dezember 1992 (1992-12-01) in der Anmeldung erwähnt -----	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2005/000357

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
EP 0774567	A	21-05-1997	US	5642985 A	01-07-1997
			DE	1138877 T1	28-05-2003
			DE	69622002 D1	01-08-2002
			DE	69622002 T2	12-12-2002
			EP	1138877 A1	04-10-2001
			EP	0774567 A1	21-05-1997
			JP	9184451 A	15-07-1997
			US	RE38040 E1	18-03-2003
EP 1111188	A	27-06-2001	US	6328533 B1	11-12-2001
			BR	0005937 A	17-07-2001
			CA	2327850 A1	21-06-2001
			EP	1111188 A2	27-06-2001
			JP	2001214893 A	10-08-2001
			PL	344738 A1	02-07-2001
US 2738950	A	20-03-1956	KEINE		
DE 1903642	A1	06-08-1970	NL	6901992 A	22-07-1970
US 5167489	A	01-12-1992	KEINE		